

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-159849

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月16日

(51) IntCl. <sup>5</sup>	識別記号	F I	
F 1 6 C 32/04		F 1 6 C 32/04	A
39/06		39/06	Z
// H 0 2 K 7/09		H 0 2 K 7/09	

審査請求 未請求 請求項の数12 OL 外国語出願 (全 38 頁)

(21) 出願番号 特願平9-322871

(22) 出願日 平成9年(1997)11月25日

(31) 優先権主張番号 9 6 1 4 3 6 8

(32) 優先日 1996年11月25日

(33) 優先権主張国 フランス (F R)

(71) 出願人 591036550

アエロスパシアル ソシエテ ナシオナル  
アンドウストゥリエル

フランス国, 75781 パリ セデ 16, プ  
ルバル ドゥ モンモレンシ, 37

(72) 発明者 チャールズ ランバート

フランス国, 06150 カネ ラ ボッカ,  
アブニ フォン ドゥ ビエ 11, レ シ  
ヨームエターパ. アッシユ

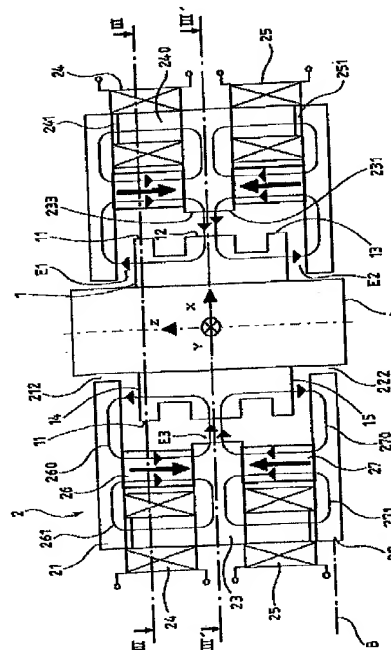
(74) 代理人 弁理士 石田 敬 (外3名)

(54) 【発明の名称】 縦方向及び横方向にアクティブな磁気軸受

(57) 【要約】

【課題】 小さい容積で製造が容易な磁気軸受を提供する。

【解決手段】 固定部に対応する強磁性の可動部のアクティブセンタリングのため、磁気軸受は主磁極片及び基準軸に垂直な中央強磁性部を有する。主空隙は基準軸に平行に変化する厚さを持ち、中央空隙は固定及び可動部間の横方向軸に平行に変化する厚さを持っている。主磁極片と中央強磁性体部の間に反対方向に磁化された2つの磁石と独立の捲線がある。巻線は中央強磁性体部に、横方向センタリングを確実にするため中央空隙を横切る制御可能な磁束を、そして前記軸に平行なセンタリングを確実にするため主空隙を横切る制御可能な磁束を発生する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基準軸（Z-Z）上で固定部材（B）に関し接触しない可動部材（A）をセンタリングし、基準軸に垂直な少なくとも1つの横方向軸（X-X、Y-Y）を有し、かつ、  
 一横方向軸に沿って基準軸のそれぞれ反対側に配置された2つの磁気回路で、各々は前記部材により支持されるよう適合された第1及び第2の強磁性体部を形成し、かつ基準軸に平行な2つの主空隙（E1、E2）オフセットにより分離され、第1の強磁性体部は基準軸に垂直な2つの主磁極片（21、22）を有した磁気回路、  
 一基準軸（Z-Z）に平行に永久磁化された手段（26、27）で、各磁気回路の主磁極片の間に配置され、主空隙（E1、E2）を横切る磁束を発生する手段、  
 一少なくとも1つの磁気回路において、主空隙（E1、E2）に制御可能な磁束を発生させるよう適合した巻線手段（24、25）、を有する磁気軸受であって、  
 該磁気軸受は、少なくとも1つの強磁性体回路のため  
 に、  
 一前記主空隙（E1、E2）は基準軸（Z-Z）に平行な厚さが変化し、  
 一基準軸に垂直であって、第1の強磁性体部に固定された中央強磁性体部（23）は、該第1の強磁性体部の主磁極片（21、22）間に配置され、その厚さが横方向軸に平行に変化する中央空隙（E3）によって第2の強磁性体部（1）から分離されており、  
 一前記永久磁化された手段は主磁極片（21、22）と中央強磁性体部（23）との間で反対方向に磁化された2つの磁石を有し、そして、  
 一前記巻線手段（24、25）は、基準軸（Z-Z）に平行な中央強磁性体部（23）のそれぞれ反対側に配置され、それによりこれらの巻線を通る電流の方向に依存する独立の巻線を有し、後者は前記巻線が横方向センタリングを確実にするため中央空隙（E3）を横切る制御可能な磁束、及び主空隙（E1、E2）を横切りそれにより前記巻線が前記基準軸に平行なセンタリングを確実にする制御可能な磁束を、中央強磁性体部（23）に発生するように適合されている、ことを特徴とする磁気軸受。  
 【請求項2】 前記第1の強磁性体部は固定部材（B）に支持されるよう設計されていることを特徴とする、請求項1に記載の磁気軸受。  
 【請求項3】 前記第2の強磁性体部（1）は第1の強磁性体部の間に配置されていることを特徴とする、請求項1または2に記載の磁気軸受。  
 【請求項4】 前記第2の強磁性体部（1）は第1の強磁性体部の周囲に配置されていることを特徴とする、請求項1または2に記載の磁気軸受。  
 【請求項5】 前記基準軸は固定部材に関連した可動部材の回転軸であり、第2の強磁性体部（1）は磁気リン

グであり、そして中央強磁性体部（23）は中央空隙（E3）の領域において全体的に環状であることを特徴とする、請求項1から4の何れか1項に記載の磁気軸受。

【請求項6】 同じ構成の2つの他の磁気回路は前記回転軸に垂直な第2の横方向センタリング軸に沿って前記回転軸（Z-Z）のそれぞれ反対側に配置され、その厚さが前記回転軸に平行に変化する2つの他の主空隙（E1、E2）を横切る前記第2の強磁性体部（1）と協同する2つの他の第1の強磁性体部を有し、巻線（24、25）はこれら2つの他の磁気回路に制御可能な磁束を発生させるように適合されており、反対方向に磁化された他の永久磁石は前記中央の強磁性体部（23）のそれぞれ反対側の2つの他の第1の強磁性体部間に配置されており、前記中央強磁性体部は2つの他の中央空隙（E3）により第2の強磁性体部から分離されており、前記巻線は前記2つの中央空隙において制御可能な磁束を発生させるように適合されていることを特徴とする、請求項5に記載された磁気軸受。

【請求項7】 前記第2の強磁性体部（1）は前記基準軸（Z-Z）に垂直な垂直軸（Y-Y）上で可動なバー磁石であることを特徴とする、請求項1から4の何れか1項に記載の磁気軸受。

【請求項8】 前記主磁極片は平行で前記磁気軸受の前記回転軸を中心とし、前記巻線（24、25）を囲むブランチを有することを特徴とする、請求項1から7の何れか1項に記載の磁気軸受。

【請求項9】 前記永久磁化された手段は前記回転軸（Z-Z）を中心とする円筒リングの形の2つの永久磁石（25、26、25a、26a、25b、26b）を有することを特徴とする、請求項1から6の何れか1項に記載の磁気軸受。

【請求項10】 前記第2の磁石部は前記中央強磁性体部に実質的に面しているフランジ（12、12a、12b）を有することを特徴とする、請求項1から9の何れか1項に記載の磁気軸受。

【請求項11】 前記第2の磁石部は前記主磁極片に実質的に面しているフランジ（11、13、11a、13a、11b、13b）を有することを特徴とする、請求項1から10の何れか1項に記載の磁気軸受。

【請求項12】 前記独立の巻線（24、25）は基準軸に平行なコア（240、250）の周囲に配置され、そして前記中央磁極片と主磁極片（21、22）の間に位置していることを特徴とする、請求項1から11の何れか1項に記載の磁気軸受。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はそれらの間に接触のない固定部と可動部からなる磁気回路を有する磁気軸受に関する。

## 【0002】

【従来の技術】米国特許第4,918,345号明細書に記載されているように、磁気軸受は1つ又は2つのセンタリング軸上の別の部材に関し、可動部材のアクティブセンタリングに磁氣的に用いられる。2つの部材は、軸受と可動部材が浮かんでいるように形成され結合した接点を有しない強磁性体の部分を有する。磁氣的にアクティブセンタリングは、センタリング軸に平行なサイズを変える空隙の種々の磁束を発生するため種々の電流が流れる巻線の使用を意味する。

【0003】磁気軸受は回転動及び直線動の両者に用いることができる。しばしば縦方向軸又は横方向軸、あるいは2つの横方向軸と呼ばれる基準軸上の磁気軸受により部材をアクティブにセンタリングすることはよく知られている。この種の軸受は一般に、さらにアクティブセンタリングに寄与することができ、そして、いくつかの形態において、1つ又はそれ以上の他の軸上でパッシブセンタリングすることを確実にする永久磁石を有する。

【0004】例えば、回転体のための磁気軸受の1つのクラスは、2つの横方向又は半径方向(radial)軸上のアクティブセンタリング、及び回転方向又は縦方向軸上のパッシブセンタリングを確実にする。半径方向にアクティブな2軸の軸受という表現(「横方向又は半径方向軸受」)が時々用いられる。回転部材のための磁気軸受の他のクラスは、縦方向軸上のアクティブセンタリング及び横方向軸上のパッシブセンタリングを確実にする。軸方向にアクティブな1軸軸受なる表現(「縦方向又は軸方向軸受」)が時々用いられる。回転動作のいくつかのケースにおいて、縦方向軸上のアクティブセンタリング及び少なくとも一つの横方向軸は、固定部に関連した可動部の横方向位置決めを確実にするため必要であり、正確な縦方向位置決めと組み合わせられる。縦方向軸上でアクティブな第1の磁気軸受(「縦方向又は軸方向軸受」)及び縦方向軸に垂直な1つ又は2つの横方向軸上でアクティブな第2の磁気軸受(「横方向又は半径方向軸受」)が用いられる。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】これら2つの軸受は互いに独立に可動部材上で行動するため磁氣的に分離することができる。最後にこれらは互いに分離され、そして、例えば、軸受の縦方向軸上で並置される。上記種類の軸受の配列は、基準縦方向軸及び少なくとも1つの横方向軸上のアクティブセンタリング、それ故これらの軸上の位置のコントロールを確実にするが、それにもかかわらず2つの軸受の並置のために大きな容積を占めるといふ不都合を有する。

【0006】さらに、この配置は製造するには複雑であり困難である。例えば、基準縦方向軸上で行動する軸受のステータ部分は挿入され、また回転部上で干渉適合(infringement fit)である2つの磁極片間に位置しな

ければならず、一方、第1の軸受に並置された横方向にアクティブな軸受の要素もまた備えなければならず、また互いに位置決めしなければならない。

【0007】これらの不都合は、普通の場合、ロータが軸方向にオフセットした2つの半径方向の軸受により浮かされている場合に強められ、そして、効率及び最小の総体のサイズのために、軸方向軸受は半径方向軸受間に配置される。同様の分析を移動(translation)における部材のセンタリングに適用し、基準軸は移動の方向及び横方向センタリング方向に垂直である。

【0008】本発明は、基準軸及び少なくとも1つの横方向軸上でアクティブであり、より小さい容積を有し、そして従来より製造するのが容易であるが、しかし性能において同等である、回転体又は移動可能な部材のための磁気軸受を提供することによって従来技術の不都合を改善することを目的とする。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は基準軸上で固定部材に関し接触しない可動部材をセンタリングし、基準軸に垂直な少なくとも1つの横方向軸を持ち、かつ、一横方向軸に沿って基準軸のそれぞれ反対側に配置された2つの磁気回路で、各々は前記部材により支持されるよう適合された第1及び第2の強磁性体部を形成し、かつ基準軸に平行な2つの主空隙オフセットにより分離され、前記第1の強磁性体部は基準軸に垂直な2つの主磁極片(21, 22)を有し、

一基準軸(Z-Z)に平行に永久磁化された手段で、各磁気回路の主磁極片の間に配置され、主空隙を横切る磁束を発生する手段、

一少なくとも1つの磁気回路において、主空隙に制御可能な磁束を発生させるよう適合した巻線手段、を有する磁気軸受であって、該磁気軸受は、少なくとも1つの強磁性体回路のために、

一前記主空隙は基準軸に平行な厚さが変化し、

一前記中央強磁性体部は基準軸に垂直であって、第1の強磁性体部に固定され、該第1の強磁性体部の主磁極片間に配置され、その厚さが横方向軸に平行に変化する中央空隙によって第2の強磁性体部から分離されており、

一前記永久磁化された手段は主磁極片と中央強磁性体部との間で反対方向に磁化された2つの磁石を有し、そして、

一前記巻線手段は基準軸に平行な中央強磁性体部のそれぞれ反対側に配置され、それによりこれらの巻線を通る電流の方向に依存する独立の巻線を有し、後者は巻線が横方向センタリングを確実にするため中央空隙を横切る制御可能な磁束及び主空隙を横切りそれにより前記巻線が前記基準軸に平行なセンタリングを確実にする制御可能な磁束を中央強磁性体部に発生するように適合されている。

【0010】このように本発明の軸受は基準軸及び少な

くとも1つの横方向軸上でアクティブである。さらに、本発明の磁気軸受の容積は縦方向軸受及び並置された横方向軸受が用いられた場合より小さい。加えて、本発明の磁気軸受は製造するのが容易であり、従って、従来の技術より低コストとなる。見たところ本発明は米国特許出願第08/583,785号に似ているように見える。これは傾斜機能 (tilt function) (角度、典型的には $3-5^\circ$ の動きの範囲) を確実にし、選択的に基準軸に垂直な少なくとも1つのセンタリング軸上にセンタリングする機能を指向している。それは第1の強磁性体部と第2の強磁性体部の主磁極片間の主空隙及び第1の強磁性体部と第2の強磁性体部の中央強磁性体部間の主空隙を有する。

【0011】しかしながら本発明によると、主空隙と中央空隙は同じ軸に、即ち、基準軸に対し横方向の軸に平行に変化する。さらに、上記文献は、光学的センタリングと結合して傾斜 (tilt) を制御することに関連している。それは全く本発明の課題と異なっており、傾斜のない2つのセンタリング軸に関連している。上記文献は明らかに本発明の課題を解決することを求めている当業者には利益はない。

【0012】本発明の特徴によると、第1の強磁性体部は固定部により支持されるよう適合される。第1の強磁性体部の要素は相対的に重く、そして好ましくは固定される。本発明の特徴によると、第2の強磁性体部は第1の強磁性体部の間に配置され、又は、逆に、第2の強磁性体部は第1の強磁性体部の周囲に配置される。本発明の軸受の構成はしたがって多くの形態に適合させることができる。

【0013】本発明の好ましい特徴によると、基準軸は固定部材に関連した可動部材の回転軸であり、第2の強磁性体部は磁気リングで中央強磁性体部は中央空隙の領域において全体に環状となっている。磁気軸受は固定部材に関連して回転部材を中心に置くために用いることができる。この場合、本発明の別の好ましい特徴によると、同じ構成の2つの他の磁気回路は回転軸に垂直な第2の横方向センタリング軸に沿った回転軸のそれぞれ反対側に配置され、その厚さが回転軸に平行に変化する2つの他の主空隙を横切る第2の強磁性体部と協同する2つの他の第1の強磁性体部を有し、巻線はこれら2つの他の磁気回路に制御可能な磁束を発生させるように適合されており、反対方向に磁化された他の永久磁石は中央強磁性体部のそれぞれ反対側のこれら2つの他の第1の強磁性体部に配置され、前記中央強磁性体部は2つの他の中央空隙により第2の強磁性体部から分離されており、そして前記巻線は前記2つの他の中央空隙において制御可能な磁束を発生させるために適合されている。

【0014】前記軸受は基準軸及び2つの横方向軸上で固定部材に関連して回転部材を中心に位置させるために用いることができる。本発明の別の好ましい特徴による

と、前記第2の強磁性体部は参照軸に垂直な軸上で可動なバー磁石である。本発明の他の特徴によると、以下のことを選択的に組み合わせることができる。

【0015】前記主磁極片は平行で磁気軸受の回転軸を中心とし、前記巻線を囲むブランチを有する。

前記永久磁化された手段は回転軸を中心とした2つの円筒リングの形の永久磁石を有する。

前記第2の磁石部は中央強磁性体部に実質的に面しているフランジを有する。

【0016】前記第2の磁石部は前記主磁極片に実質的に面しているフランジを有する。

前記独立の巻線は基準軸に平行なコアの周囲に配置され、そして中央の磁極片と主磁極片の間に位置している。本発明の特徴と利点は、添付の図面に描かれた多くの実施形態の記載からより明確になる。

【0017】

【発明の実施の形態】図1、2、3A及び3Bを参照すると、本発明はロータ部1及びステータ部2を有する磁気軸受に適用されている。これらの部分1及び2はそれぞれロータA及びステータBに固定されている。この磁気軸受の基準軸は円筒形シャフトであるロータAの回転軸又は縦方向軸Z-Zである。以下、軸Z-Zは垂直であるが、しかし垂直に対していくらかの傾きを持つことができるものと仮定する。少なくともステータ部2に面した部分において、ロータ部1は磁気リングであり、正確にいうと強磁性材料から作られた円柱であり、それ故都合の良いことに3つのフランジ11、12及び13を持った磁極片を構成している。上部及び下部フランジ11及び13は、好ましくはフランジ11と13の間にある中央フランジ12の反対側にある。フランジ12は軸Z-Z方向に、他の2つのフランジ11及び13の高さの実質的に3倍の高さを持っている。フランジ11及び13の軸方向厚さはそれらの目的が軸方向空隙を提供することであるためほとんど重要ではないことがわかる。

【0018】軸Z-Zは本発明の軸受の第1の縦方向センタリング軸を構成する。軸受はロータAの回転軸Z-Zに垂直な2つの半径方向又は横方向センタリング軸X-X及びY-Yを持っている。ステータ部2はそれらの中心に開口212、222を有した2つの全く同じ平行な強磁性体プレート21及び22を有している。磁極片21と22は4つのブランチ210、220をそれぞれ持った十字形であり、カットアウト211、221でそれぞれ分離されている。各カットアウト211、221は軸X-X及びY-Yに対して実質的に $45^\circ$ で軸上に集まっている。プレート21と22は軸Z-Zに垂直に集まっている主たる磁極片である。もちろん、センタリング軸と同じ数の対のブランチを有し、3つ (又はそれ以上) の横方向センタリング軸を有することができる。

【0019】軸Z-Zを有する中央の磁極片23はプレート21と22の間に配置されており、ここではそれら

の中間である。磁極片23は強磁性体であり、カットアウト231により分離された4つのブランチ230を有した十字形である。磁極片のブランチ及びカットアウトは磁極片21と22のそれらに重ねられている。磁極片23の厚さは実質的にプレート21及び22のそれの2倍であり、その外側直径はプレート21と22のそれと等しい。中央磁極片の内側直径は磁極片21と22のそれより小さい。磁極片23は半径方向におけるロータ部の中央フランジ12に面しており、同じ軸方向の厚さを持つている。フランジ12に面している磁極片23の部分は全体的に環状である。カットアウト231はブランチ230を完全には分離しておらず、また後者は半径方向の小さな厚さを持ったブリッジ232により対で結合されており、磁極片23の内側周辺に位置していることに注意されたい。ブリッジ232は2つの連続したブランチ間の磁束の不連続を制限し、そしてロータ部が高速で回転した時に渦電流を制限する。それぞれのコア240上の全く同一の巻線24は、主磁極片21のブランチ210と中央磁極片23間で軸X-X上及び軸Y-Y上で対に配置される。

【0020】同様に、それぞれのコア250上の4つの巻線25は、主磁極片22及び中央磁極片23間でセンタリング軸上、即ち軸X-X及び軸Y-Y上で対に配置される。巻線25は巻線24と同一である。巻線24と25は独立している。非磁性(amagnetic)固定シム241と251はコアの各々と磁極21、22又は23の1つの間に配置されている。

【0021】2つの同一の円筒形永久磁石26と27は中央磁極23に対しそれぞれ反対側に配置され、軸Z-Zを中心としている。永久磁石26は磁極片21と中央磁極片23の間に挿入され、永久磁石27は磁極片22と中央磁極片23の間に挿入されている。磁石26と27は回転軸Z-Zに平行にかつ反対方向に、例えば両方とも磁極片23に向けて磁化されている。

【0022】特に図1に示されているように、中央磁極片23の内径は、中央磁極片23の内部端がロータ部1のフランジ12に面するフランジ233を形成する結果として、磁石26と27のそれより小さい。軸Z-Z及び半径方向センタリング軸、ここでは軸X-X、を含む各平面のため、本発明の磁気軸受は3つの空隙E1、E2及びE3を有する。第1の空隙E1とE2はロータ部1と磁極片21と22の間にある。より正確にいうと、第1の空隙E1はロータ部1の上面14と上部磁極片21の下面部の間にある。

【0023】フランジ11は上面14の表面領域を増やし、そのため空隙E1は横切る磁束の通過に好ましいことに注意されたい。第2の空隙E2はロータ部1の底面15と底部磁極22の上面部との間にある。第2の空隙は第1の空隙E1に類似している。主空隙E1とE2は回転軸Z-Zに平行な厚さにおいて変化する。

【0024】第3の空隙E3はフランジ12と中央磁極23のフランジ233の間にある。中央の空隙E3は関連する横方向軸に平行な厚さに変化する。軸Z-Z上をロータ部の両側に延びることができるロータAは、すでに述べたように強磁性体部の外側に磁束が拡大しないようにするため、非磁性材からできていることに注意されたい。

【0025】永久磁石26は、第1の磁気ループ260、即ち、磁極片23、空隙E3、ロータ部1、空隙E1及び磁極片21を流れる磁束、及び第2の磁気ループ261、即ち、磁極片23、磁気コア240、固定シム241、及び磁極片21を流れる磁束を発生する。同様に、永久磁石27は、第1の磁気ループ270、即ち、中央磁極片23、空隙E3、ロータ部1、空隙E1及び磁極片22を流れる磁束、及び第2の磁気ループ271、即ち、磁極片23、磁気コア250、固定シム251、及び磁極片22を流れる磁束を発生する。

【0026】2つの磁石は同一であり、縦方向に反対方向に磁化されており、発生した磁束はステータ部2に対してロータ部1の均衡した位置を作り出す。この均衡は不安定である。図4を参照されたい。図4の平面でロータを左の方に移すことが必要であると仮定する。軸X-X上に配列された2つの巻線24は電流を流す。これらの電流の各々は、中央磁極片23、空隙E2、ロータ部1、空隙E1及び磁極片21を流れる磁束3を誘導する。

【0027】同様に、軸X-X上に配列された2つの巻線25は電流を運ぶ。これらの電流の各々は、中央磁極片23、空隙E2、ロータ部1、空隙E1及び磁極片22を流れる磁束4を誘導する。中央の空隙E3において、図4の左側の巻線24と25の磁束3と4は、磁石26と27の磁束を加え又は加えられる。図4の右側の巻線24と25の磁束3と4は、磁石26と27の磁束を加えるが、しかし反対方向である。

【0028】空隙E1及びE2において、巻線24と25の電流によって誘導される磁束は、もし発生する磁束が同じ大きさであるなら、即ち、実際に巻線を流れる電流が同じ絶対値を持っている場合、空隙E1とE2は問題の時に同じサイズになると考えられるため、相殺する反対の効果をも有する。したがって、巻線24と25により誘導された磁束は、横方向軸X-X上、より正確に言えば図4の左側にロータを移すことができる力を増大させる。そのため、縦方向軸Z-Z上でロータの位置を修正することなく、軸X-X上でアクティブに磁気軸受を中心に来るよう調整することができる。

【0029】ロータは、巻線24と25の電流の流れの方向を逆にすることにより、図4の右側に動かされる。ロータは、軸Y-Y上の巻線24と25に電流を流すことにより、同じように軸Y-Y上を動かされる。図5を参照すると、ロータは軸Z-Z上を例えば下側に動かさ

れる。

【0030】軸X-X上で中心に置かれた巻線24と25は、磁極片21、空隙E1、ロータ部1、空隙E2、磁極片22、磁気コア250、磁極片23及び磁気コア240に磁気ループ5を作り出して加える磁束を発生させる電流を流す。一方、巻線24と25により誘導され、磁極片23と空隙E3を流れる磁束は、もしこれらの磁束が等しいなら、即ち、実際、もしロータが問題の時に軸X-X上に正確に中心に置かれていれば、もし巻線24を流れる電流が同じ絶対値を有していれば、相殺する。

【0031】図5に示された誘導磁束の方向で、誘導磁束は空隙E1において磁石26の磁束と反対であり、空隙E2において磁石27の磁束に加えられる。誘導磁束は、それ故、空隙E2を減少させ、結果としてロータ部1を図5の下側に動かす力を発生する。このように、磁気軸受を縦方向軸Z-Z上を有効に中心に来よう調整することが可能である。

【0032】軸Z-Z上及び軸Y-Y上のセンタリング回路は磁気的に分離されている。簡略化された本発明の実施形態において、図示されていないが、磁気軸受は縦方向センタリング軸及びただ1つの横方向センタリング軸を有している。軸受はただ1つの横方向軸上に巻線24、25を有しており、軸Z-Zに関して互に対称的に面している。

【0033】他の変形においては、軸受は2つより多い横方向センタリング軸、例えば、3つ又は4つのこのような軸をもっており、より正確な横方向センタリングを可能にする。横方向センタリング軸の各々は、巻線24、25と関連している。図6に示された本発明による磁気軸受の第2の実施形態は、ロータ部がステータ部の外側にある点で先の実施形態と異なっている。添字aを持った同じ参照番号が図1から5に示された第1の軸受の要素に類似の磁気軸受の要素に付与されている。

【0034】本発明の磁気軸受の第2の実施形態は、縦方向回転軸Z-Zを持った中空円筒形のロータ部1aを有している。3つのフランジ11a、12a、13aはロータ部1aの内面に形成されている。軸Z-Z方向において、部材Aaに固定されたロータ部1aは、部材Baに固定されたステータ部2aの2つの極片21aと22aの間に置かれ、2つの空隙E1aとE2aを形成する。磁極片21aと22aは4つのブランチを持ち、ここではそれらの半径方向外側端に沿って相互に結合された軸Z-Zに対して横方向に配置された平行な同一の強磁性体プレートである。プレート21aと22aの外側の直径はロータ部1aのそれに等しい。

【0035】ステータ部2aは磁極片21aと22aの間の軸Z-Z上の中心に置かれた中央磁極片23aを持っている。磁極片23aの形は磁極片21aと22aのそれらに対応しており、それらの半径方向外側の端に沿

て相互に結合された4つのブランチを有している。磁気コア240aと250aの周囲の巻線24aと25aは磁極片21a、22a及び23aの間に挿入される。

【0036】2つの永久磁石26aと27aは軸Z-Zの方向の中心磁極片23aに対してそれぞれ反対側に置かれている。磁石26aと27aは反対の縦方向の磁化、例えば、一点に向かう磁化を有している。磁石26aと27aは円筒形であり軸Z-Zを中心に置かれている。中心の磁極片23aとロータ部1aのフランジ12aは空隙E3aを規定している。磁気軸受の動作は先に述べたものと似ている。

【0037】図7に示された本発明による磁気軸受の第3の実施形態は、Y-Y方向に線形に動く磁気軸受である。この軸受は軸Y-Y及び固定部2b部上で可動なバー1bを有する。横方向軸X-X及び互いにそして軸Y-Yに垂直な基準軸Z-Zは、固定部と関連した可動部の2つのセンタリング軸を構成する。

【0038】バー1bは強磁性材料から作られており、3つのフランジ11b、12b及び13bを有する磁極片を構成している。固定部2bは、軸Y-Y及びZ-Zを含む平面に関して対称な2つの部分を有する。これらの部分の各々は軸Z-Zに垂直な主磁極片を形成する同一の強磁性プレート21bと22bを有する。磁極片21bは軸Y-Yに平行な方向に整列しており、各磁極片21bを軸Y-Y上に整列した部分に分割しそしてブリッジ212bにより対で結合された軸Y-Yに垂直なカットアウト211bを有する。ブリッジ212bは可動部の移動の高速動の際に渦電流を制限する。この代わりとして、磁極片部は完全に分離することができる。

【0039】同様に、磁極片22bは軸Y-Yに平行な方向に整列されており、各磁極片22bを軸Y-Y上に整列した部分に分離する軸Y-Yに垂直なカットアウト221bを持っている。強磁性バーの形態の中央の磁極片23bはプレート21bと22bの間に配置されている。磁気コア24bと25bの各々の周囲の同一の巻線24bと25bは、磁極片21bと22b及び中央磁極片23b間に配置されている。

【0040】永久磁石バー26bと27bは磁極片21bと22b及び中央磁極片23b間に配置されている。磁石26bと27bは基準軸Z-Zに平行に、そして反対方向に、例えば分散する方向に磁化される。磁気軸受は3つの空隙E1b、E2b及びE3bを有している。

上記磁気軸受の動作は第1の実施形態のそれと類似しており、軸X-X及びZ-Z上にアクティブセンタリングを提供する。

【0041】もちろん、本発明は記載され、また示された実施形態に限定されるものではなく、当業者に示唆されるすべての変形を包含するものである。特に、ステータ部及びロータ部は相互に交換可能である。

【図面の簡単な説明】

11

【図1】本発明による磁気軸受の第1の実施形態の参照軸Z-Zを含む平面の縦方向断面図である。

【図2】本発明による磁気軸受の第1の実施形態の平面図である。

【図3】3Aと3Bは本発明による磁気軸受の第1の実施形態の図で、それぞれ図1の線III-III及びIII'-II'に沿った横断面図である。

【図4】巻線により軸受に誘導された磁束の線を示す図1と同様の図である。

【図5】巻線により軸受に誘導された磁束の他の線を示す図1と同様の別の図である。

【図6】本発明による磁気軸受の第2の実施形態の基準

12

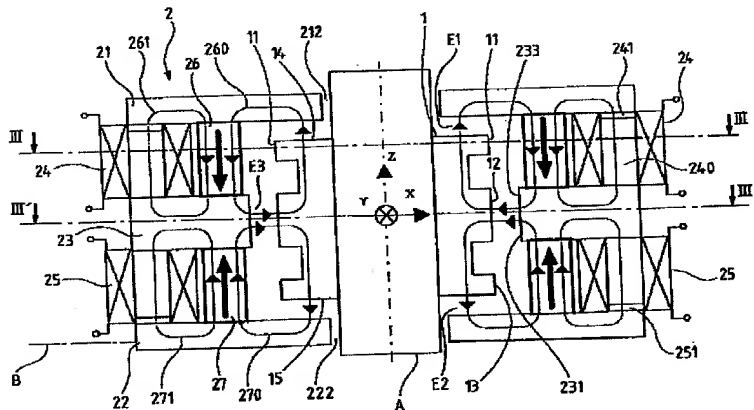
軸Z-Zを含む平面の縦方向断面図である。

【図7】本発明による磁気軸受の第3の実施形態の基準軸Z-Zを含む平面の縦方向断面図である。

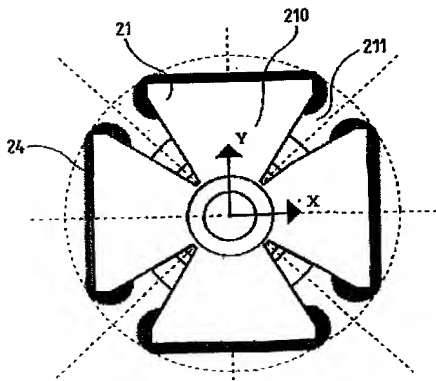
【符号の説明】

- 1…ロータ部
- 2…ステータ部
- 3、4…磁束
- 5…磁気ループ
- 11、12、13…フランジ
- 21、22、23…磁極片
- 24、25…巻線
- 26、27…磁石

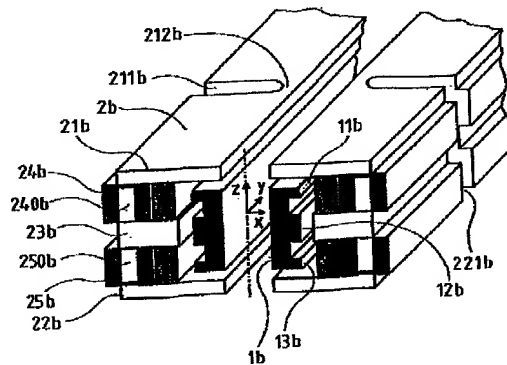
【図1】



【図2】

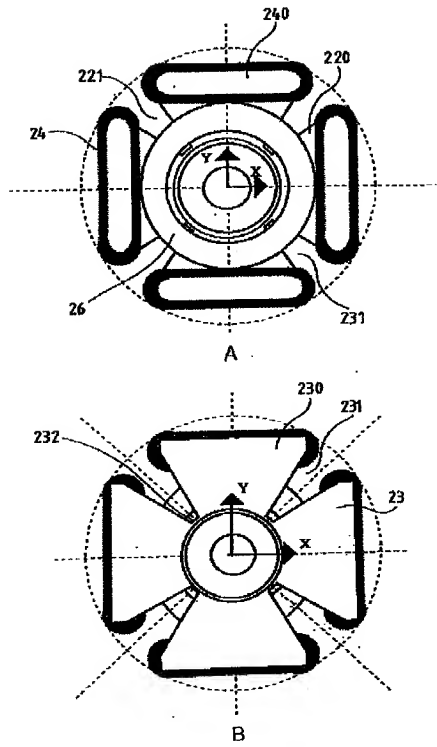


【図7】

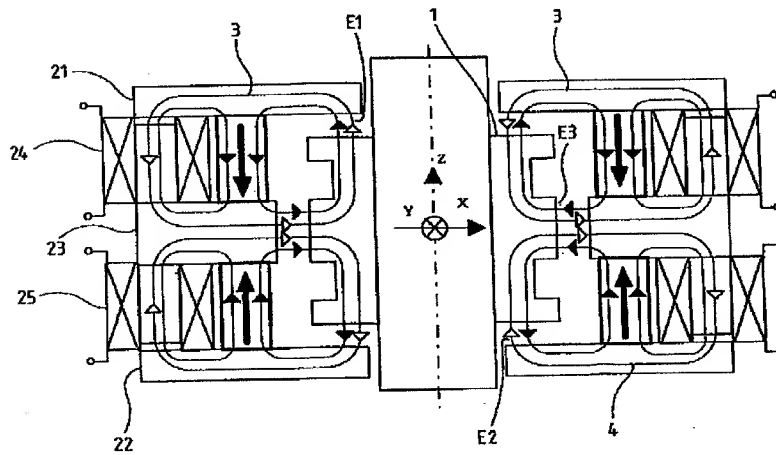




【図3】

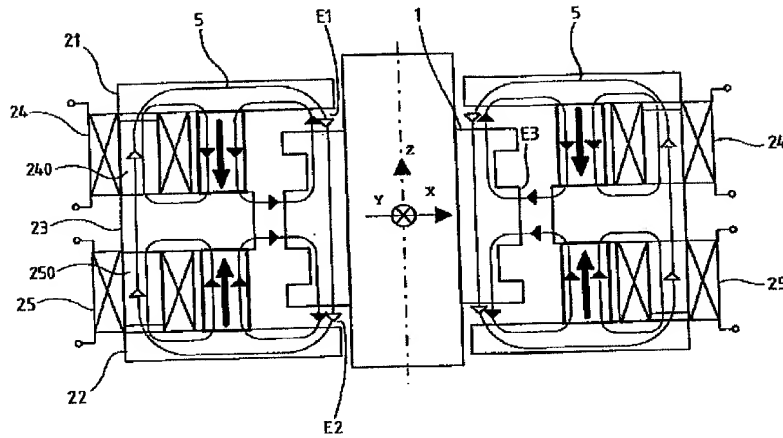


【図4】

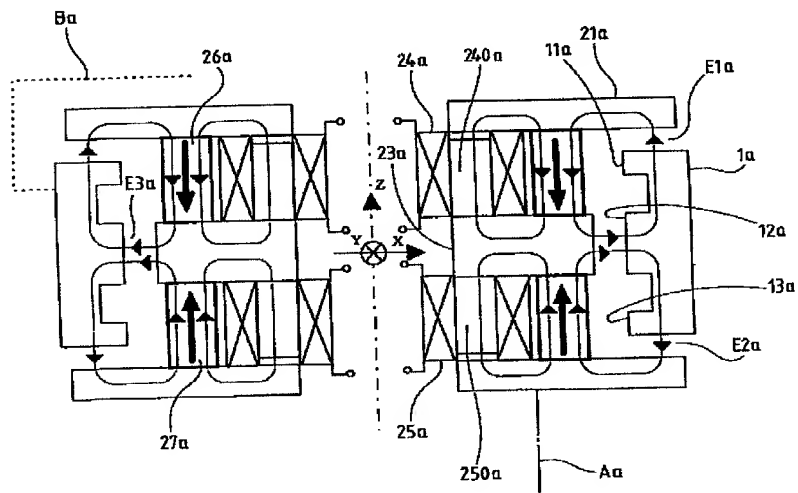




【図5】



【図6】



## 【外国語明細書】

## 1. Title of Invention

Longitudinally and transversely active magnetic bearing

## 2. Claims

1. Magnetic bearing for centering a mobile body (A) with no contact relative to a fixed body (B) on a reference axis (Z-Z), having at least one transverse axis (X-X, Y-Y) perpendicular to the reference axis, and including

- two magnetic circuits disposed on respective opposite sides of the reference axis along the transverse axis, and each formed of first and second ferromagnetic parts adapted to be carried by said body and separated by two main airgaps (E1, E2) offset parallel to the reference axis, the first ferromagnetic part including two main polepieces (21, 22) perpendicular to the reference axis,

- means (26, 27) permanently magnetized parallel to the reference axis (Z-Z), disposed between the main polepieces of each magnetic circuit and generating magnetic fluxes across the main airgaps (E1, E2),

- winding means (24, 25) adapted to generate in at least one of the magnetic circuits a controllable magnetic flux in the main airgaps (E1, E2), this magnetic bearing being characterized in that, for at least one of the ferromagnetic circuits:

- the main airgaps (E1, E2) vary in thickness parallel to the reference axis (Z-Z),

- a median ferromagnetic part (23) perpendicular to the reference axis, fastened to the first ferromagnetic part, is disposed between the main polepieces (21, 22) of this first ferromagnetic part and is separated from the second ferromagnetic part (1) by a median airgap (E3) the thickness of which varies parallel to the transverse axis,

- the permanently magnetized means include two magnets magnetized in opposite directions between the main polepieces (21, 22) and the median ferromagnetic

part (23), and

- the winding means (24, 25) include independent windings disposed on respective opposite sides of the median ferromagnetic part (23) parallel to the reference axis (Z-Z) whereby, depending on the directions of the currents flowing through these windings, the latter are adapted to generate in the median ferromagnetic part (23) a controllable magnetic flux crossing the median airgap (E3) so that the windings assure transverse centering and a controllable magnetic flux crossing the main airgaps (E1, E2) whereby the windings assure centering parallel to said reference axis.

2. Magnetic bearing according to claim 1 characterized in that the first ferromagnetic parts are designed to be carried by the fixed body (B).

3. Magnetic bearing according to claim 1 or claim 2 characterized in that the second ferromagnetic part (1) is disposed between the first ferromagnetic parts.

4. Magnetic bearing according to claim 1 or claim 2 characterized in that the second ferromagnetic part (1) is disposed around the first ferromagnetic parts.

5. Magnetic bearing according to any one of claims 1 to 4 characterized in that the reference axis is a rotation axis of the mobile body relative to the fixed body, in that the second ferromagnetic part (1) is a magnetic ring and in that the median ferromagnetic part (23) is globally annular in the region of the median airgap (E3).

6. Magnetic bearing according to claim 5 characterized in that two other magnetic circuits of the same structure are disposed on respective opposite sides of the rotation axis (Z-Z) along a second transverse centering axis perpendicular to the rotation axis, including two other first ferromagnetic parts co-operating with the second ferromagnetic part (1)

across two other main airgaps (E1, E2) the thickness of which varies parallel to the rotation axis, windings (24, 25) being adapted to generate a controllable magnetic flux in these two other magnetic circuits, other permanent magnets magnetized in opposite directions being disposed between these two other first ferromagnetic parts on respective opposite sides of the median ferromagnetic part (23), said median ferromagnetic part being separated from the second ferromagnetic part by two other median airgaps (E3) and the windings being adapted to generate a controllable magnetic flux in said two other median airgaps.

7. Magnetic bearing according to any one of claims 1 to 4 characterized in that the second ferromagnetic part (1) is a bar magnet mobile on a perpendicular axis (Y-Y) perpendicular to the reference axis (Z-Z).

8. Magnetic bearing according to any one of claims 1 to 7 characterized in that the main polepieces are parallel and centered on the rotation axis of the magnetic bearing and include branches that surround the windings (24, 25).

9. Magnetic bearing according to any one of claims 1 to 6 characterized in that the permanently magnetized means include two permanent magnets (25, 26; 25a, 26a; 25b, 26b) in the form of cylindrical rings centered on the rotation axis (Z-Z).

10. Magnetic bearing according to any one of claims 1 to 9 characterized in that the second magnetic part includes a flange (12, 12a, 12b) substantially facing the median ferromagnetic part.

11. Magnetic bearing according to any one of claims 1 to 10 characterized in that the second magnetic part includes flanges (11, 13; 11a, 13a; 11b, 13b) substantially facing said main polepieces.

12. Magnetic bearing according to any one of claims

1 to 11 characterized in that the independent windings (24, 25) are disposed around cores (240, 250) parallel to the reference axis and situated between the median polepiece and the main polepieces (21, 22).

### 3. Detailed Description of Invention

#### Field of the invention

The present invention concerns a magnetic bearing including a magnetic circuit formed of a fixed part and a mobile part between which there is no contact.

#### Description of the prior art

As described in document US-A-4,918,345, for example, a magnetic bearing is used for magnetically active centering of a mobile body relative to another body on one or two centering axes. The two bodies include ferromagnetic portions between which there is no contact conjointly forming the bearing and the mobile body is said to be "suspended". Magnetically active centering implies the use of a winding in which a variable current flows to generate a variable magnetic flux in airgaps varying in size parallel to the centering axis.

Magnetic bearings can be used both for rotational movement and for linear movement.

Actively centering a body by means of a magnetic bearing on a reference axis sometimes called the longitudinal axis or on a transverse axis, or on two transverse axes, is known in itself. A bearing of this kind generally further includes permanent magnets that can contribute to active centering and also, in some configurations, assure passive centering on one or more other axes.

For example, one class of magnetic bearings for rotating bodies assures active centering on two transverse or radial axes and passive centering on the rotation or longitudinal axis; the expression radially active two-axis bearing ("transverse or radial bearing") is sometimes used. Another class of magnetic bearings

for rotating bodies assures active centering on the longitudinal axis and passive centering on the transverse axes; the expression axially active one-axis bearing ("longitudinal or axial bearing") is sometimes used.

In some cases of rotational movement, active centering on the longitudinal axis and at least one transverse axis is necessary to assure transverse positioning of the mobile part relative to the fixed part, combined with precise longitudinal positioning. A first magnetic bearing active on the longitudinal axis ("longitudinal or axial bearing") and a second magnetic bearing active on one or two transverse axes perpendicular to the longitudinal axis ("transverse or radial bearing") are then used.

These two bearings can be decoupled magnetically to act on the mobile part independently of each other. To this end they are separated from each other and juxtaposed on the longitudinal axis of the bearing, for example.

Although an arrangement of bearings of the above kind assures active centering on the reference longitudinal axis and at least one transverse axis, and therefore positional control on these axes, it nevertheless has the disadvantage of occupying a large volume because of the juxtaposition of the two bearings.

Furthermore, this arrangement is complex and difficult to manufacture. For example, the stator part of the bearing acting on the reference longitudinal axis must be inserted and positioned between two polepieces that are an interference fit on the rotor part, while the components of the transversely active bearing, juxtaposed to the first-mentioned bearing, must also be mounted and positioned relative to each other.

These disadvantages are accentuated if, as is routinely the case, the rotor is suspended by two radial



bearings offset axially and, for reasons of efficiency and minimum overall size, the axial bearing is disposed between the radial bearings.

The same analysis applies to centering of the body in translation, the reference axis being perpendicular to the direction of translation and to the transverse centering direction.

The present invention aims to remedy the disadvantages of the prior art by providing a magnetic bearing for a rotating body or a body mobile in translation that is active on a reference axis and at least one transverse axis, has a smaller volume and is easier to manufacture than in the prior art, but with an equivalent level of performance.

#### SUMMARY OF THE INVENTION

To this end, the invention proposes a magnetic bearing for centering a mobile body with no contact relative to a fixed body on a reference axis, having at least one transverse axis perpendicular to the reference axis, and including

- two magnetic circuits disposed on respective opposite sides of the reference axis along the transverse axis, and each formed of first and second ferromagnetic parts adapted to be carried by said body and separated by two main airgaps offset parallel to the reference axis, the first ferromagnetic part including two main polepieces perpendicular to the reference axis,

- means permanently magnetized parallel to the reference axis, disposed between the main polepieces of each magnetic circuit and generating magnetic fluxes across the main airgaps,

- winding means adapted to generate in at least one of the magnetic circuits a controllable magnetic flux in the main airgaps,

wherein, for at least one of the ferromagnetic circuits:

- the main airgaps vary in thickness parallel to the reference axis,

- a median ferromagnetic part perpendicular to the reference axis, fastened to the first ferromagnetic part, is disposed between the main polepieces of this first ferromagnetic part and is separated from the second ferromagnetic part by a median airgap the thickness of which varies parallel to the transverse axis,

- the permanently magnetized means include two magnets magnetized in opposite directions between the main polepieces and the median ferromagnetic part, and

- the winding means include independent windings disposed on respective opposite sides of the median ferromagnetic part parallel to the reference axis whereby, depending on the directions of the currents flowing through these windings, the latter are adapted to generate in the median ferromagnetic part a controllable magnetic flux crossing the median airgap so that the windings assure transverse centering and a controllable magnetic flux crossing the main airgaps whereby the windings assure centering parallel to said reference axis.

Thus the bearing of the invention is active on the reference axis and at least one transverse axis. Moreover, the volume of the magnetic bearing of the invention is smaller than in the case where a longitudinal bearing and a juxtaposed transverse bearing are used. Additionally, the magnetic bearing of the invention is easier to manufacture and consequently lower in cost than in the prior art.

At first sight, the invention may appear similar to that of pending US patent application Serial No. 08/583,785, which is directed to assuring a tilt function (over a range of movement of a few degrees, typically 3 to 5°) and optionally a centering function on

at least one centering axis perpendicular to a reference axis. It includes main airgaps between the main polepieces of a first ferromagnetic part and a second ferromagnetic part and a median airgap between a median ferromagnetic portion of the first ferromagnetic part and the second ferromagnetic part.

In contrast to the present invention, however, the main airgaps and the median airgap vary parallel to the same axis, namely an axis transverse to a reference axis.

Moreover, the above document is concerned with controlling tilt, in combination with optional centering, which is entirely different from the problem addressed by the invention, which is concerned with two centering axes with no tilt. The above document is evidently of no benefit to the skilled person seeking to solve the problem addressed by the invention.

According to a preferred feature of the invention, the first ferromagnetic parts are adapted to be carried by the fixed body. The components of the first ferromagnetic parts are relatively heavy and are preferably fixed.

According to preferred features of the invention, the second ferromagnetic part is disposed between the first ferromagnetic parts or, conversely, the second ferromagnetic part is disposed around the first ferromagnetic parts. The structure of the bearing of the invention can therefore be adapted to suit a large number of configurations.

According to one preferred feature of the invention, the reference axis is an axis of rotation of the mobile body relative to the fixed body, the second ferromagnetic part is a magnetic ring and the median ferromagnetic part is globally annular in the region of the median airgap. The magnetic bearing can then be used to center a rotating body relative to a fixed body.

In this case, according to another preferred feature of the invention, two other magnetic circuits of the same structure are disposed on respective opposite sides of the rotation axis along a second transverse centering axis perpendicular to the rotation axis, including two other first ferromagnetic parts co-operating with the second ferromagnetic part across two other main airgaps the thickness of which varies parallel to the rotation axis, windings being adapted to generate a controllable magnetic flux in these two other magnetic circuits, other permanent magnets magnetized in opposite directions being disposed between these two other first ferromagnetic parts on respective opposite sides of the median ferromagnetic part, said median ferromagnetic part being separated from the second ferromagnetic part by two other median airgaps and the windings being adapted to generate a controllable magnetic flux in said two other median airgaps.

The bearing can then be used to center the rotating body relative to the fixed body on the reference axis and on two transverse axes.

According to another preferred feature of the invention, the second ferromagnetic part is a bar magnet mobile on an axis perpendicular to the reference axis.

According to other features of the invention, optionally combinable:

- the main polepieces are parallel and centered on the rotation axis of the magnetic bearing and include branches that surround the windings,

- the permanently magnetized means include two cylindrical ring-shape permanent magnets centered on the rotation axis,

- the second magnetic part includes a flange substantially facing the median ferromagnetic part,

- the second magnetic part includes flanges

substantially facing said main polepieces,

- the independent windings are disposed around cores parallel to the reference axis and situated between the median polepiece and the main polepieces.

The features and advantages of the present invention will become more apparent from a reading of the description of a number of embodiments illustrated by the accompanying drawings.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

Referring to figures 1, 2, 3A and 3B, the invention

applies to a magnetic bearing including a rotor part 1 and a stator part 2. These parts 1 and 2 are respectively fastened to a rotor A and a stator B.

The reference axis of the magnetic bearing is the rotation axis or longitudinal axis Z-Z of the rotor A which is a cylindrical shaft. It is assumed hereinafter than the axis Z-Z is vertical, but it can have any inclination to the vertical. At least in the portion facing the stator part 2, the rotor part 1 is a magnetic ring, to be more precise a cylinder made from a ferromagnetic material, and therefore constitutes a polepiece that advantageously has three flanges 11, 12 and 13. The top and bottom flanges 11 and 13 are on opposite sides of the median flange 12 which is preferably halfway between the flanges 11 and 13. The flange 12 has a height in the direction of the axis Z-Z that is substantially three times that of the other two flanges 11 and 13. It will be seen that the axial thickness of the flanges 11 and 13 is of little importance, since their purpose is to provide axial airgaps.

The axis Z-Z constitutes a first longitudinal centering axis of the bearing of the invention.

The bearing has two radial or transverse centering axes X-X and Y-Y perpendicular to the rotation axis Z-Z of the rotor A.

The stator part 2 includes two identical parallel ferromagnetic plates 21 and 22 with openings 212, 222 at their center. The polepieces 21 and 22 are cruciform with four branches 210, respectively 220, separated by cut-outs 211, respectively 221. Each cut-out 211, 221 is centered on an axis at substantially 45° to the axes X-X and Y-Y. The plates 21 and 22 are main polepieces perpendicular to and centered on the axis Z-Z. Of course, there can be three (or more) transverse centering

axes, with as many pairs of branches as there are centering axes.

A median polepiece 23 with axis Z-Z is disposed between the plates 21 and 22, here halfway between them. The polepiece 23 is ferromagnetic and cruciform in shape with four branches 230 separated by cut-outs 231. The branches and the cut-outs of the polepieces are superposed on those of the polepieces 21 and 22. The thickness of the polepiece 23 is substantially twice that of the plates 21 and 22 and its outside diameter is equal to that of the plates 21 and 22. The inside diameter of the median polepiece is less than that of the polepieces 21 and 22. The polepiece 23 faces the median flange 12 of the rotor part in the radial direction and has the same axial thickness. The portion of the polepiece 23 facing the flange 12 is globally annular.

Note that the cut-outs 231 do not completely separate the branches 230 and that the latter are connected in pairs by bridges 232 having a small thickness in the radial direction, situated at the inside periphery of the polepiece 23. The bridges 232 limit the discontinuity of magnetic flux between two successive branches and so limit eddy currents when the rotor part rotates at high speed.

Four identical windings 24 on respective cores 240 are disposed in pairs on the axis X-X and on the axis Y-Y, between the branches 210 of the main polepiece 21 and the median polepiece 23.

Likewise, four windings 25 on respective cores 250 are disposed in pairs on the centering axes, i.e. the axis X-X and the axis Y-Y, between the branches 220 of the main polepiece 22 and the median polepiece 23. The windings 25 are identical to the windings 24.

The windings 24 and 25 are independent.

Amagnetic static shims 241 and 251 are disposed



between each of the cores and one of the polepieces 21, 22 or 23.

Two identical cylindrical permanent magnets 26 and 27 are disposed on respective opposite sides of the median polepiece 23 and centered on the axis Z-Z. The permanent magnet 26 is inserted between the polepiece 21 and the median polepiece 23 and the permanent magnet 27 is inserted between the polepieces 22 and 23. The magnets 26 and 27 are magnetized parallel to the rotation axis Z-Z and in opposite directions, for example both towards the median polepiece 23.

As shown in figure 1 in particular, the inside diameter of the polepiece 23 is less than that of the magnets 26 and 27 with the result that the inside end of the median polepiece 23 forms a flange 233 facing the flange 12 of the rotor part 1.

For each plane containing the axis Z-Z and a radial centering axis, here the axis X-X, the magnetic bearing of the invention includes three airgaps E1, E2 and E3. The first airgaps E1 and E2 are between the rotor part 1 and the polepieces 21 and 22. To be more precise, the first airgap E1 is between the top face 14 of the rotor part 1 and a portion of the lower face of the top polepiece 21.

Note that the flange 11 increases the surface area of the top face 14 and therefore favors the passage of the magnetic flux across the airgap E1.

The second airgap E2 is between the bottom face 15 of the rotor part 1 and a portion of the top face of the bottom polepiece 22. The second airgap is similar to the first airgap E1.

The main airgaps E1 and E2 vary in thickness parallel to the rotation axis Z-Z.

The third airgap E3 is between the flange 12 and the flange 233 of the median polepiece 23. The median

airgap E3 varies in thickness parallel to the transverse axis concerned.

Note that the rotor A, which can extend both sides of the rotor part on the axis Z-Z, is made from an amagnetic material to prevent propagation of magnetic flux outside the ferromagnetic parts previously described.

The permanent magnet 26 generates a magnetic flux flowing in a first magnetic loop 260 through the polepiece 23, the airgap E3, the rotor part 1, the airgap E1 and the polepiece 21 and in a second magnetic loop 261 through the polepiece 23, the magnetic cores 240, the static shims 241 and the polepiece 21.

Likewise, the permanent magnet 27 generates a magnetic flux flowing in a first magnetic loop 270 through the median polepiece 23, the airgap E3, the rotor part 1, the airgap E3 and the polepiece 22 and in a second magnetic loop 271 through the polepiece 23, the magnetic cores 250, the static shims 251 and the polepiece 22.

The two magnets being identical and longitudinally magnetized in opposite directions, the fluxes generated create an equilibrium position of the rotor part 1 relative to the stator part 2. This equilibrium is unstable.

Referring to figure 4, it is assumed that it is required to displace the rotor towards the left, in the plane of figure 4. The two windings 24 aligned on the axis X-X carry electric currents. Each of these currents induces a flux 3 flowing through the median polepiece 23, the airgap E2, the rotor part 1, the airgap E1 and the polepiece 21.

Likewise, the two windings 25 aligned on the axis X-X carry electric currents. Each of these currents induces a flux 4 flowing through the median polepiece 23,

the airgap E2, the rotor part 1, the airgap E1 and the polepiece 22.

In the median airgap E3 the magnetic fluxes 3 and 4 of the windings 24 and 25 on the left in figure 4 add and are also added to the magnetic fluxes of the magnets 26 and 27. The magnetic fluxes 3 and 4 of the windings 24 and 25 on the right in figure 4 add but oppose the magnetic fluxes of the magnets 26 and 27.

In the airgaps E1 and E2 the fluxes induced by the currents in the windings 24 and 25 have contrary effects which cancel out if the fluxes generated are of the same magnitude, i.e. in practice, assuming that the airgaps E1 and E2 are the same size at the time in question, if the currents flowing in the windings have the same absolute value.

Accordingly the flux induced by the windings 24 and 25 gives rise to a force capable of displacing the rotor on the transverse axis X-X, to be more precise towards the left in the figure 4 example. It is therefore possible to center actively the magnetic bearing on the axis X-X without modifying the position of the rotor on the longitudinal axis Z-Z.

The rotor is moved towards the right in figure 4 by reversing the direction of flow of the currents in the windings 24 and 25.

The rotor is moved on the axis Y-Y in a similar manner by causing currents to flow in the windings 24 and 25 on the axis Y-Y.

Referring to figure 5, the rotor is to be moved on the axis Z-Z, for example downwards.

The windings 24 and 25 centered on the axis X-X carry currents generating magnetic fluxes that add to create magnetic loops 5 in the polepiece 21, the airgap E1, the rotor part 1, the airgap E2, the polepiece 22, the magnetic core 250, the polepiece 23 and the magnetic

core 240. On the other hand, the fluxes induced by the windings 24 and 25 and flowing through the polepiece 23 and the airgap E3 cancel out if these fluxes are equal, i.e. in practise, if the rotor is correctly centered on the axis X-X at the time in question, if the currents flowing through the windings have the same absolute value.

Thus with the induced flux directions as shown in figure 5, the induced fluxes oppose the flux of the magnet 26 in the airgap E1 and are added to the flux of the magnet 27 in the airgap E2.

The induced fluxes therefore generate a force that tends to reduce the airgap E2 and consequently to move the rotor part 1 downwards in figure 5. It is thus possible to center the magnetic bearing actively on the longitudinal axis Z-Z.

The centering circuits on the axis Z-Z and on the axes X-X and Y-Y are magnetically decoupled.

In a simplified embodiment of the invention, not shown, the magnetic bearing includes the longitudinal centering axis and only one transverse centering axis. The bearing then has windings 24, 25 on only one transverse axis, symmetrically facing each other with respect to the axis Z-Z.

In other variants, the bearing has more than two transverse centering axes, for example three or four such axes, enabling more precise transverse centering. Each of the transverse centering axes is associated with windings 24, 25.

Referring to figure 6, a second embodiment of a magnetic bearing in accordance with the invention differs from the previous embodiment in that the rotor part is outside the stator part. The same reference numbers with the suffix "a" are assigned to the components of the magnetic bearing that are similar to the components of

the first bearing described with reference to figures 1 to 5.

The second embodiment of magnetic bearing of the invention includes a rotor part 1a in the form of a hollow cylinder having a longitudinal rotation axis Z-Z. Three flanges 11a, 12a and 13a are formed on the inside face of the rotor part 1a.

In the direction of the axis Z-Z, the rotor part 1a, fastened to a body 1a, lies between two polepieces 21a and 22a of the stator part 2a, fastened to a body Ba, forming two airgaps E1a and E2a. The polepieces 21a and 22a are parallel identical ferromagnetic plates disposed transversely to the axis Z-Z which have four branches, here interconnected along their radially outside edge. The outside diameter of the plates 21a and 22a is equal to that of the rotor part 1a.

The stator part 2a also has a median polepiece 23a centered on the axis Z-Z halfway between the polepieces 21a and 22a. The shape of the polepiece 23a corresponds to that of the polepieces 21a and 22a and includes four branches interconnected along their radially outermost edge. Windings 24a and 25a around magnetic cores 240a and 250a are inserted between the polepieces 21a, 22a and 23a.

Two permanent magnets 26a and 27a are disposed on respective opposite sides of the median polepiece 23a in the direction of the axis Z-Z. The magnets 26a and 27a have opposite longitudinal magnetizations, for example convergent magnetizations. The magnets 26a and 27a are cylindrical and centered on the axis Z-Z.

The median polepiece 23a and the flange 12a of the rotor part 1a define an airgap E3a.

The operation of this magnetic bearing is analogous to that previously described.

Referring to figure 7, a third embodiment of a

magnetic bearing in accordance with the invention is a magnetic bearing for linear movement in the direction Y-Y.

This bearing includes a bar 1b mobile on the axis Y-Y and a fixed part 2b. A transverse axis X-X and a reference axis Z-Z perpendicular to each other and to the axis Y-Y constitute two centering axes of the mobile part relative to the fixed part.

The bar 1b is made from a ferromagnetic material and constitutes a polepiece having three flanges 11b, 12b and 13b.

The fixed part 2b includes two parts symmetrical with respect to a plane containing the axes Y-Y and Z-Z. Each of these parts includes identical ferromagnetic plates 21b and 22b forming main polepieces perpendicular to the axis Z-Z. The polepieces 21b are aligned in a direction parallel to the axis Y-Y and include cut-outs 211b perpendicular to the axis Y-Y which divide each polepiece 21b into portions aligned on the axis Y-Y and joined in pairs by bridges 212b. The bridges 212b limit eddy currents in the event of high speed movement in translation of the mobile part. As an alternative to this, the polepiece portions can be completely separated.

Similarly, the polepieces 22b are aligned in a direction parallel to the axis Y-Y and have cut-outs 221b perpendicular to the axis Y-Y which separate each polepiece 22b into portions aligned on the axis Y-Y. The cut-outs 221b are analogous to those of the polepieces 21b.

A median polepiece 23b in the form of a ferromagnetic bar is disposed halfway between the plates 21b and 22b.

Identical windings 24b and 25b around respective magnetic cores 240b and 250b are disposed between the polepieces 21b and 22b and the median polepiece 23b.

Permanent bar magnets 26b and 27b are disposed between the polepieces 21b and 22b and the median polepiece 23b. The magnets 26b and 27b are magnetized parallel to the reference axis Z-Z and in opposite directions, for example diverging.

The magnetic bearing includes three airgaps E1b, E2b and E3b.

The operation of the above magnetic bearing is similar to that of the first embodiment and provides active centering on the X-X and Z-Z axes.

Of course, the present invention is in no way limited to the embodiments described and shown, but to the contrary encompasses all variants that may suggest themselves to the skilled person.

In particular, the stator and rotor parts can be interchanged.



#### 4. Brief Description of Drawings

Figure 1 shows a first embodiment of a magnetic bearing in accordance with the invention in schematic longitudinal section in a plane containing a reference axis Z-Z.

Figure 2 is a plan view of the first embodiment of a magnetic bearing in accordance with the invention.

Figures 3A and 3B are views of the first embodiment of a magnetic bearing in accordance with the invention in cross-section taken along the lines III-III and III'-III' in figure 1, respectively.

Figure 4 is a view analogous to figure 1 showing lines of magnetic flux induced in the bearing by the windings.

Figure 5 is another view analogous to figure 1 showing other lines of magnetic flux induced in the bearing by the windings.

Figure 6 shows a second embodiment of a magnetic bearing in accordance with the invention in diagrammatic longitudinal section in a plane containing a reference axis Z-Z.

Figure 7 shows a third embodiment of a magnetic bearing in accordance with the invention in schematic longitudinal section in a plane containing a reference axis Z-Z.

## (Explanation of Symbols)

1...rotor part

2...stator part

3, 4...magnetic flux

5...magnetic loop

1 1, 1 2, 1 3...flange

2 1, 2 2, 2 3...polepiece

2 4, 2 5...winding

2 6, 2 7...magnet

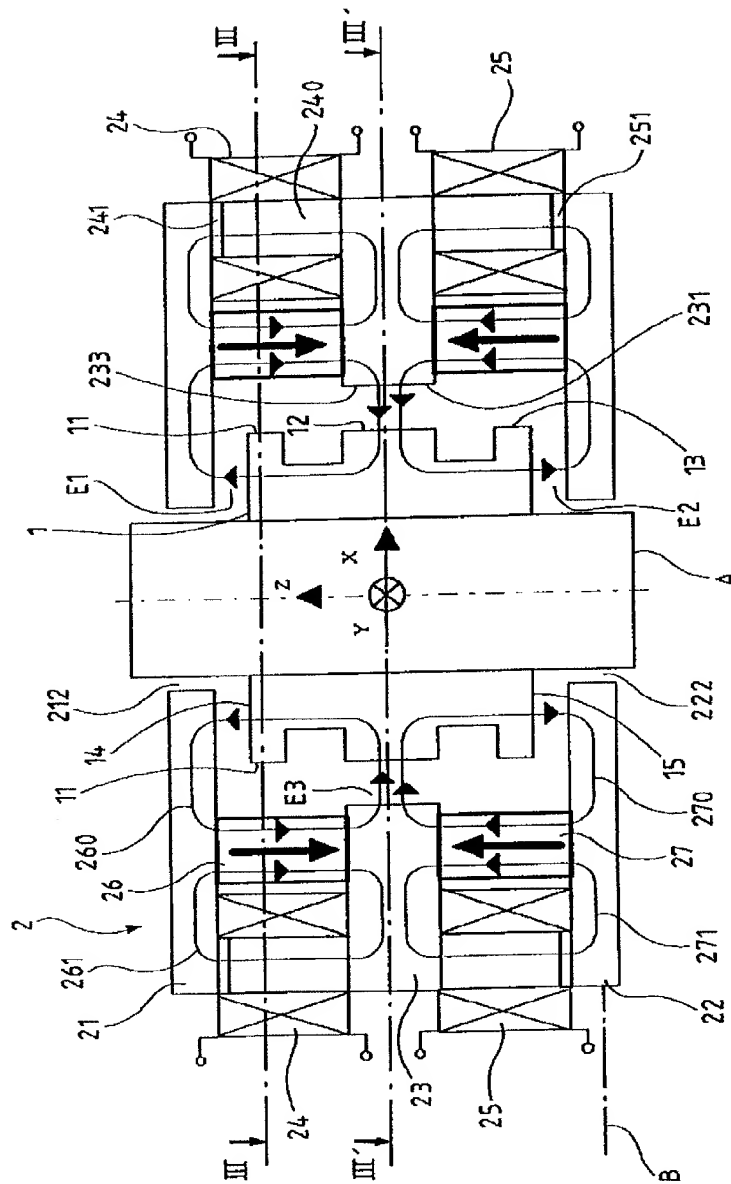


Fig.1

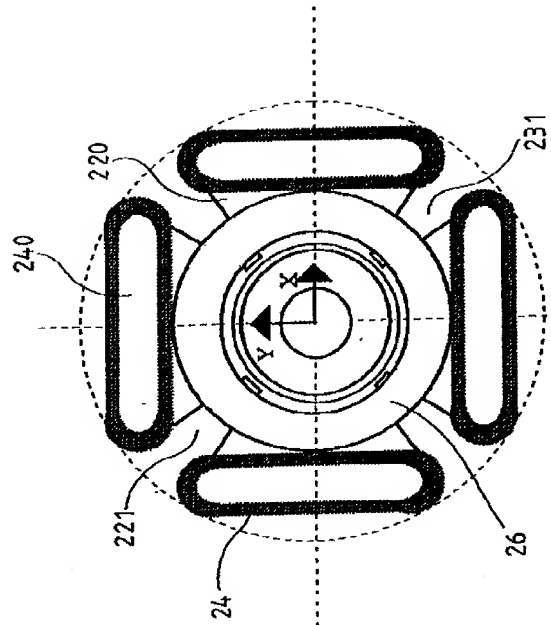


Fig. 3A

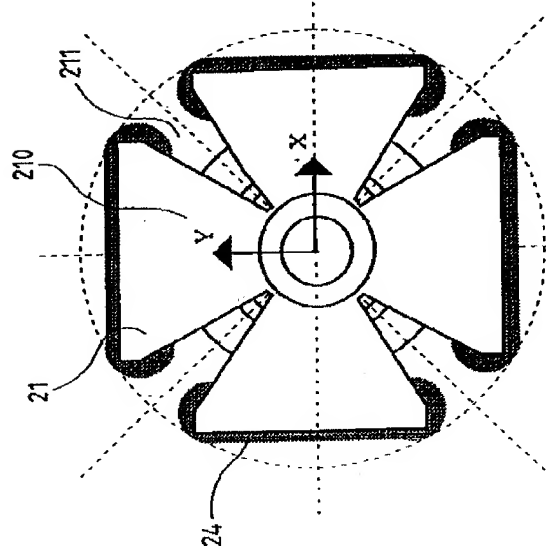


Fig. 2

(34)

特開平10-159849

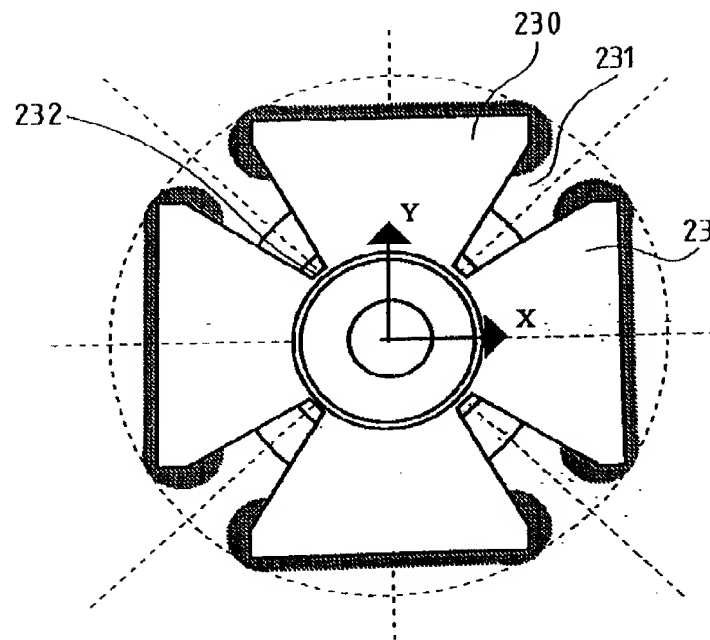


Fig. 3B

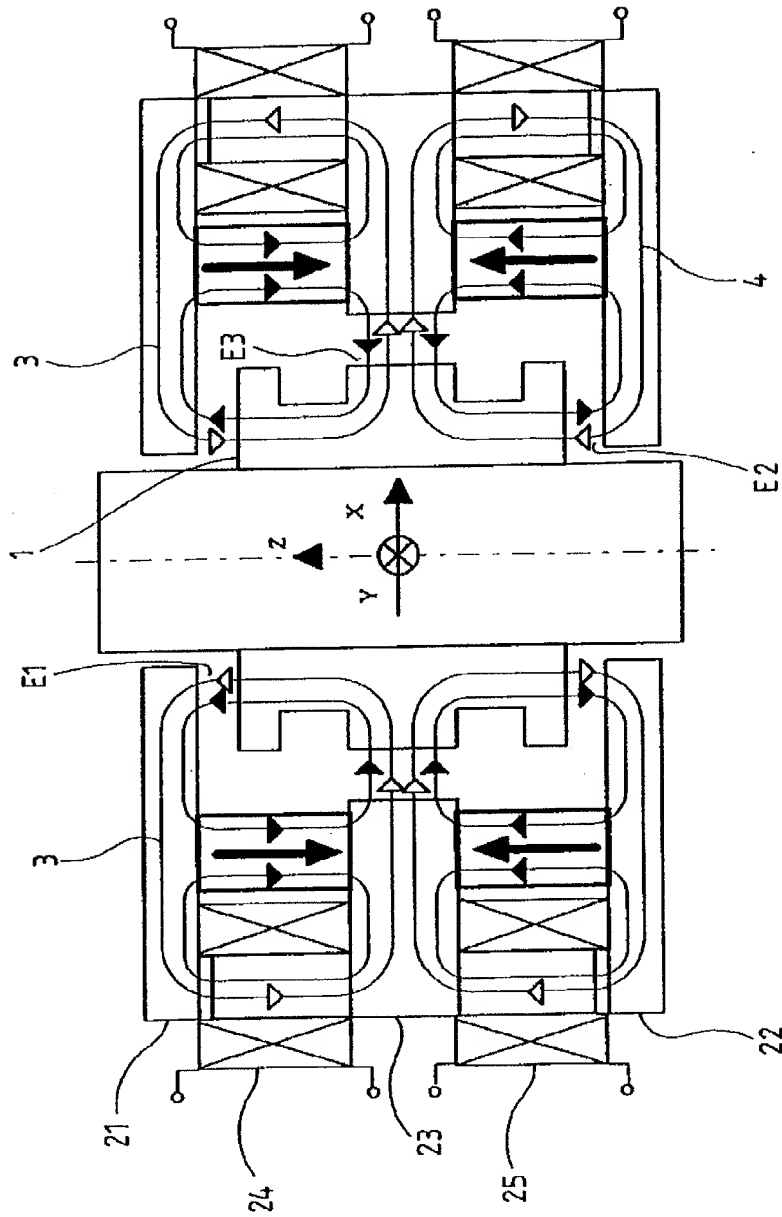


Fig. 4

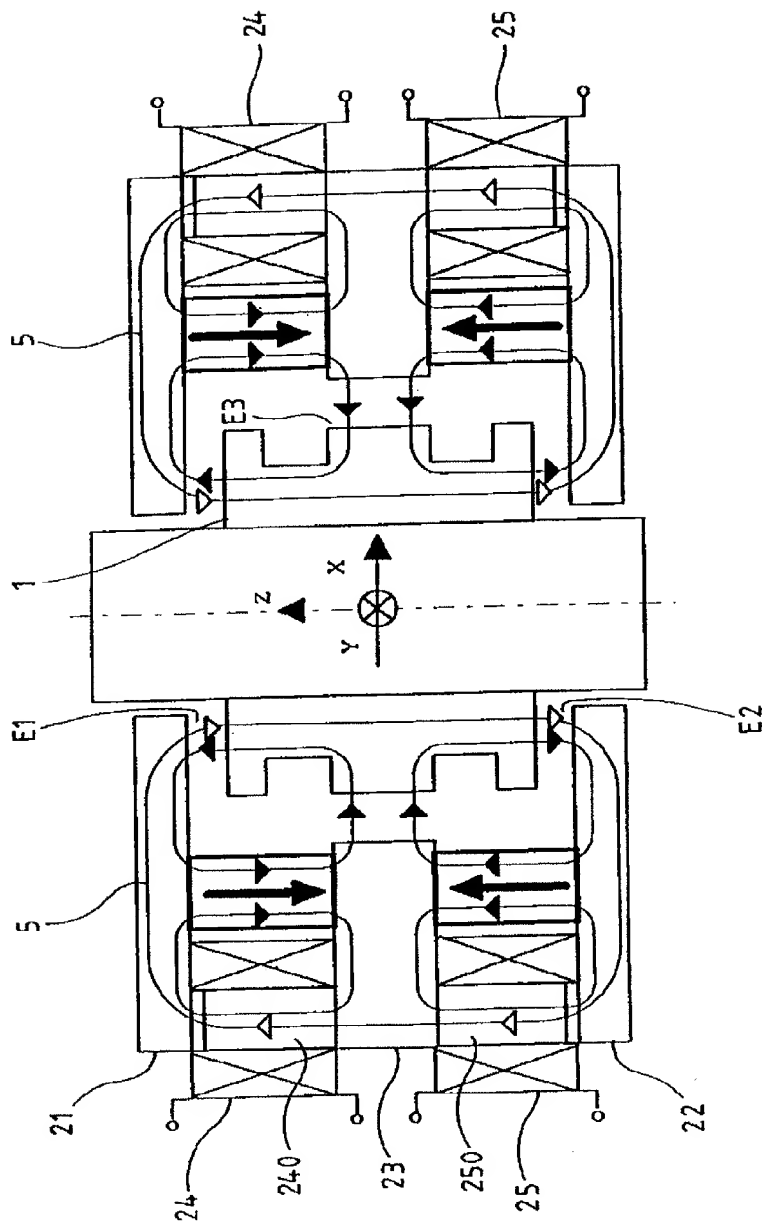


Fig. 5



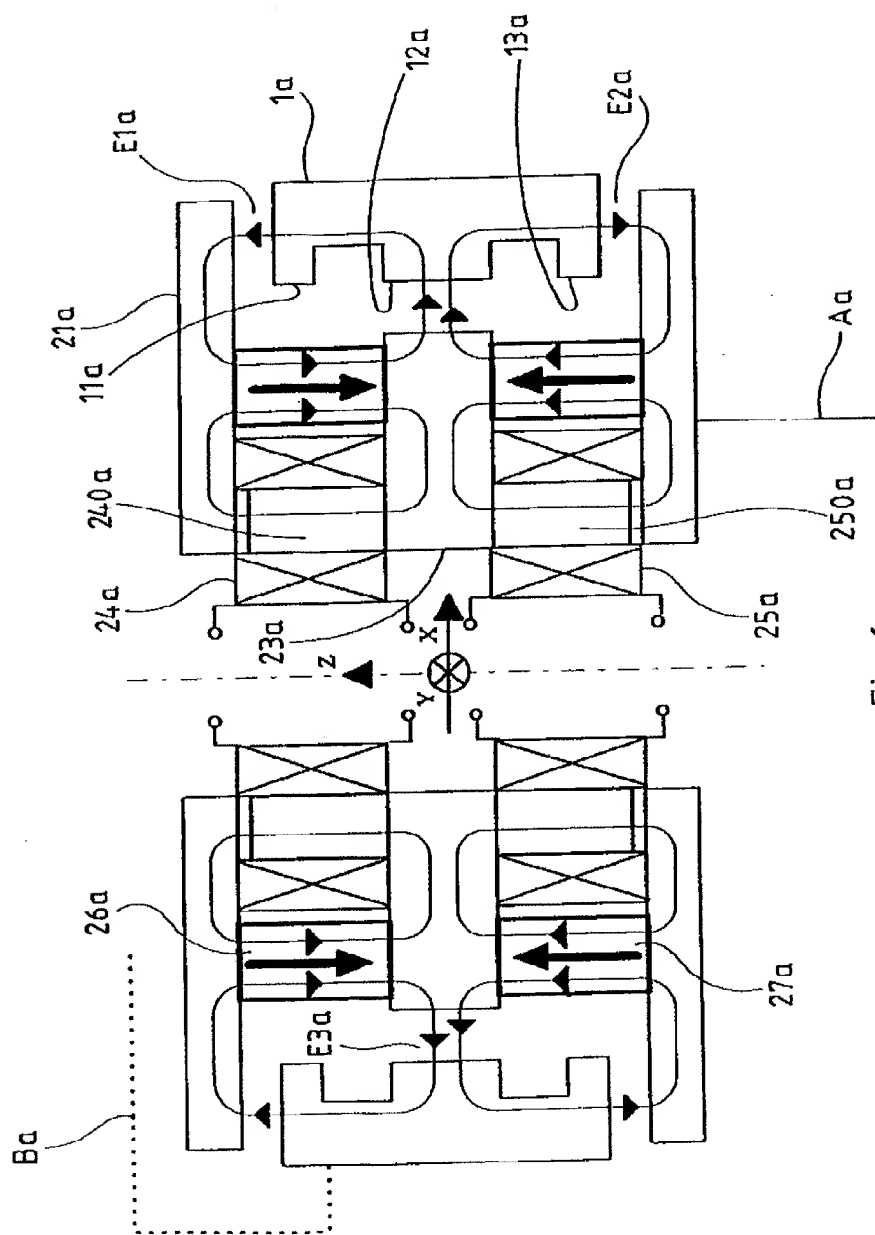


Fig.6

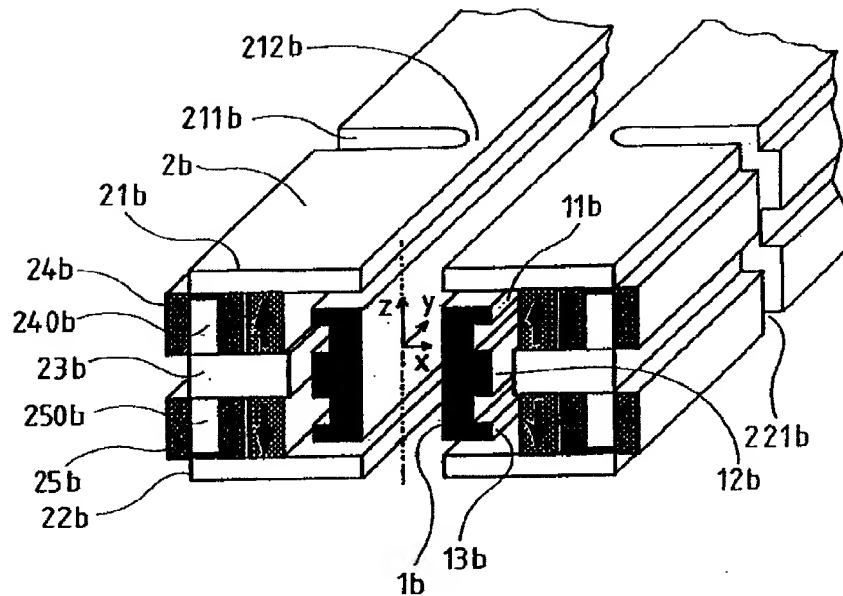


Fig. 7

## 1. Abstract

For active centering of a ferromagnetic mobile part relative to a fixed part, a magnetic bearing includes main polepieces and a median ferromagnetic part perpendicular to a reference axis. Main airgaps have a thickness varying parallel to the reference axis and a median airgap has a thickness varying parallel to a transverse axis between the fixed and mobile parts. There are two magnets magnetized in opposite directions and independent windings between the main polepieces and the median ferromagnetic part. The windings generate in the median ferromagnetic part a controllable magnetic flux crossing the median airgap to assure transverse centering and a controllable magnetic flux crossing the main airgaps to assure centering parallel to said reference axis.

## 2. Representative Drawing

Fig. 1